



基于 IDW 插值的测量数据等值线生成方法*

胡添毅, 朱江彦, 向晋祥, 解 逊, 周冠男

(长江航道测量中心, 湖北 武汉 430010)

摘要: 航道测量是航道维护管理的重要工作, 而测量数据的内业成图是电子航道图、数字航道等运行的数据基础。针对传统等值线绘制与检查流程耗费大量人力与工时的问题, 采用 IDW(反距离加权)插值方法与 ArcGIS 工具, 设计了等值线生产方法与优化方案, 并以此开发等值线生成平台。实践表明: 新的等值线生产方法具有较高的生产效率, 等值线生成平台可以推广应用于航道内业制图。

关键词: 等值线; IDW(反距离加权)插值; ArcGIS Engine 工具

中图分类号: P 208; U 612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2020)07-0199-07

DOI:10.16233/j.cnki.issn1002-4972.20200706.007

The method of contour generation using measurement data based on IDW interpolation

HU Tian-yi, ZHU Jiang-yan, XIANG Jin-xiang, XIE Xun, ZHOU Guan-nan

(Changjiang Waterway Survey Center, Wuhan 430010, China)

Abstract: Waterway survey is an important work of waterway maintenance and management, and the indoor mapping of measurement data is the data basis of the electronic nautical chart, the digital waterway and other operations. Aiming at the problem that the traditional contour drawing and checking process consumes a lot of manpower and working hours in surveying and mapping, this paper uses IDW interpolation method and ArcGIS tools to design the contour generation method and optimization scheme, and then develops the contour generation platform. The practice shows that the new contour generation method has high productivity, and the contour generation platform can be extended and applied to waterway mapping.

Keywords: contour; IDW(inverse distance weighted) interpolation; ArcGIS Engine tools

长江是贯穿我国东、中、西部地区的水路运输大通道。《长江经济带发展规划纲要》的审议通过, 标志着长江航道需要突破当前瓶颈、承担更多的经济建设与上下游联通工作, 因此需要航道单位提供更好、更便捷的电子航道图信息服务。电子航道图的数据基础为内业制图成果, 等值线绘制及检查作为内业制图最重要的一环, 需要耗费 5 名内业人员 4~5 工作日, 其效率难以满足快速成图、为电子航道图及时提供数据的需求, 亟待提升制作工艺。

目前, 在航道测绘中, 绘制等值线的基本流

程为: 1) 将测量数据导入 CASS 软件; 2) 框选数据生成三角网; 3) 利用三角网计算生成等值线; 4) 将该等值线导入清华山维软件; 5) 在清华山维软件内手动调整等值线; 6) 将调整的等值线导出为 CAD 格式。

该绘制流程存在两点不足: 1) 现有等值线生成流程步骤较多, 需要制图人员对 CASS、清华山维软件有充分了解, 并掌握各项绘图参数, 人员培训成本较大; 2) 手动调整等值线工作量过大, 并且在调整过程中可能出现错绘、漏绘等情况。为了提升等值线绘制的效率与准确性, 等值线自

收稿日期: 2019-11-13

* 基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2018YFB1600400)

作者简介: 胡添毅(1993—), 男, 硕士, 助理工程师, 从事地理信息系统的应用研究。

动生成方法被广泛研究。

大部分的等值线自动生成方法^[1-3]基于不规则三角网(triangular irregular network, TIN)模型或其改进模型。王海涛^[4]提出一种基于薄板样条函数(TPS)模型构建的等深线生产方法,并通过实际数据验证其有效性。王学潮^[5]将测深点网格化后,设计了通过等值点追踪生成等值线、并予以平滑的算法。

本文设计了基于 IDW(inverse distance weighted)插值的等值线生成方法,并使用空间查询方法对等值线进行线形优化和拓扑错误修正,最后基于生成和优化方法开发了等值线生成平台。

1 基本方法

在航道测绘作业中,测量得出的水深值或高程值均是在测量区域内处处都有定义的地理特征值,即空间连续数据(spatial continuous data)。为表示完整的河床地形地貌,在源数据中只记录有限个样点值,样点以外各点的值通过插值方法计算。

同时,进行一次测量可能会产生数万个测量点,等值线的生成中需要对这些测量点进行存储、空间查询及计算,以提升等值线计算的效率。本文使用 MySQL 数据库进行测量点和等值线数据的存储、空间查询与计算。

1.1 插值方法

空间插值方法是基于已知的地理特征点数据,推求同一区域内的未知点的数据。

目前,国内外常见的空间插值方法有 IDW 插值^[6-8]、不规则三角网方法、趋势面(trend)分析法、普通克里格(ordinary Kriging)插值、简单克里格(simple Kriging)插值、泛克里格(universal Kriging)插值等。

IDW 插值全称为反距离加权插值,它以插值点与样本点之间的距离为权重进行加权平均,离插值点越近的样本点赋予的权重越大。

IDW 插值的公式为:

$$\hat{\mu}(x) = \sum_{i=1}^n \omega_i(s) y_i \quad (1)$$

式中: $\hat{\mu}(x)$ 为插值点的特征值; $\omega_i(s)$ 为样本点距

插值点的距离倒数(或倒数的 n 次幂; n 为正整数)函数; y_i 为样本点的特征值。其中, $\omega_i(s)$ 需要满足归一化条件:

$$\sum_{i=1}^n \omega_i(s) = 1 \quad (2)$$

因为在航道测绘后,测量点经过点位校正在地图上分布均匀,密度也足以在计算中反映河床局部表面变化,本文选取 IDW 插值方法进行等值线生成的计算。

1.2 MySQL 的空间数据库应用

MySQL 是一种关系型数据库管理系统^[9-10], MySQL5.7 版本遵循 OpenGIS 联盟(open geospatial consortium, OGC)的几何数据模型规则,对空间数据库进行支持,并支持空间索引^[11],可以提高对数据集空间检索的效率。

空间查询利用空间索引机制,从数据库找出符合该条件的空间数据,MySQL 支持 MBRContains()、ST_Contains()、ST_Disjoint()等空间拓扑函数,并可使用 ST_PointN(A, n)、ST_Area()、ST_Buffer()等空间数据相关方法。采用 MySQL 数据库可以有效加快等值线生成平台的计算速度,进而提升内业制图人员的工作效率。

本次研究所用的空间拓扑函数的作用为: MBRContains(A, B), 判断几何形状 A 的最小边界矩形是否包含几何形状 B 的最小边界矩形; ST_Contains(A, B), 判断几何形状 A 是否完全包含几何形状 B(当且仅当 B 中的所有点都位于 A 中,并且至少有一个 B 中的点位于 A 的内部,为完全包含); ST_Intersection(A, B), 计算几何形状 A 和 B 的相交或重叠区域; ST_Disjoint(A, B), 判断几何形状 A 与几何形状 B 是否有交集; ST_PointN(A, n), 返回折线 A 的第 n 个点; ST_Area(A): 计算多边形 A 的面积; ST_Buffer(A, x): 计算生成几何形状 A、长度为 x 的多边形缓冲区。

2 基于 ArcGIS 的等值线生成流程

本文通过 IDW 插值算法生成测量区域的等值线图,再从等值线图中提取等值线,根据测量区域的边界进行裁剪。等值线具体的生成流程见图 1。

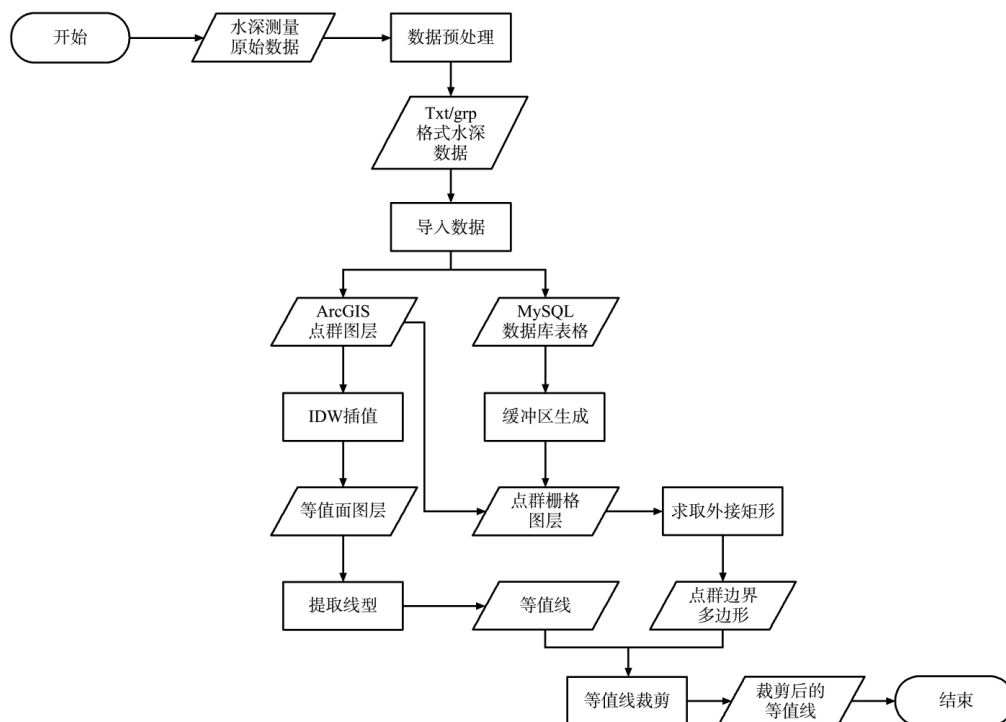


图 1 等值线生成流程

将水深测量原始数据进行预处理后, 对测深点进行 IDW 插值计算, 得到测量区域的等值面图, 并按照高程间距 1 m 提取等值线。

随后根据测深点计算测深区域边界, 计算流程为: 1) 对每个测深点都生成缓冲区; 2) 求所有缓冲区的并集; 3) 将求得的并集生成栅格图层; 4) 生成栅格图层的线状外接多边形; 5) 对线状外界多边形进行转换, 生成面状外接多边形; 6) 利用测深区域边界与等值线的拓扑关系裁剪等值线, 最终生成裁剪后的等值线。

根据上述等值线生成流程开发等值线生成平台。在 Visual Studio 环境下, MySQL 作为数据库, 以 ArcGIS Engine 工具进行空间数据显示及处理, 采用 C# 语言搭建框架进行开发。

本文的测量原始数据来源于武汉白沙洲桥区 2017 年 9 月实地测量数据, 测区面积约为 7.5 万 m^2 , 采用多波束测深仪进行河床扫测, 采集约 3.3 万个测深点, 并经过数据预处理。等值线生成平台和导入平台的测量原始数据显示见图 2, 利用上述流程在平台中计算生成的等值线见图 3。

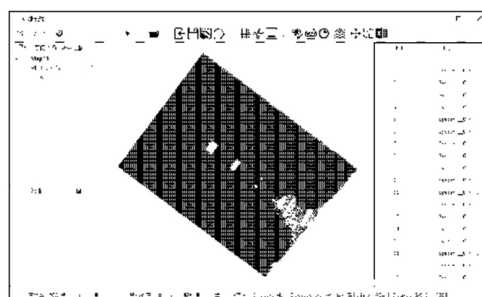


图 2 等值线生成平台及测量原始数据



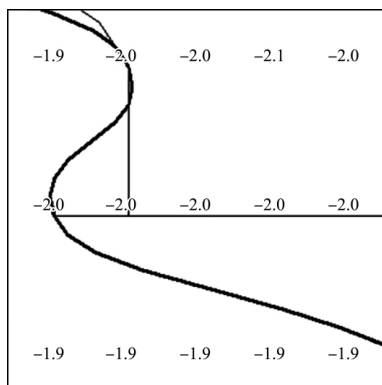
图 3 生成的等值线

3 等值线优化方法

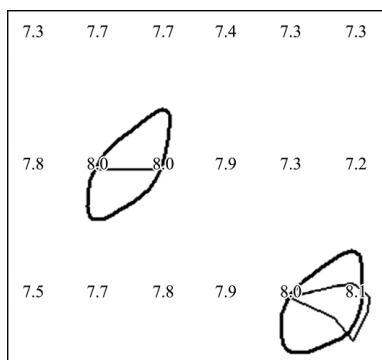
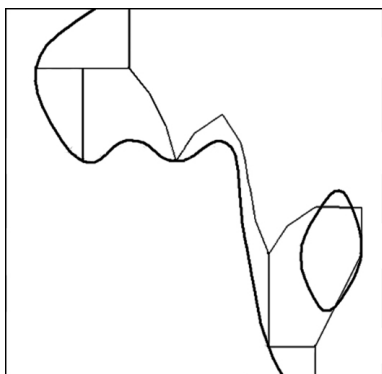
3.1 等值线优化需求

为确保等值线可以准确地反映河道地理信息,

需要查验等值线与测深点的对应关系,以及等值线自身与等值线之间的拓扑关系。因为水深原始数据的水深或高程值保留一位小数,所以会出现一批值为“ $x.0$ ”($x=\cdots,-1,0,1,\cdots$) 的测深点。此类测深点会使生成的等值线与测深点对应关系出现错误,并且在拓扑关系、线形上出现错误,如图4所示,细线为计算生成的等值线,粗线为等值线的理想走向,数字为原始数据的测深值注记。



a) 示例1



c) 示例3

图4 等值线错误状况示例

同时,生成的等值线在线形美观方面相比手工绘制的曲线有较大的差距。如图5所示,需要对曲线部分节点的点位进行校正,并对曲线进行平滑。

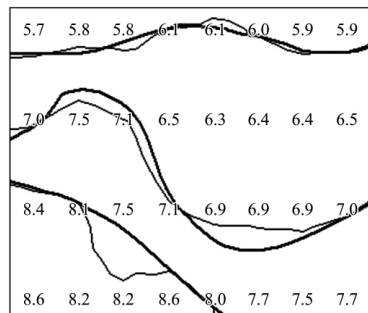


图5 等值线线形优化需求

3.2 特征点与等值线对应关系

此处的特征点是值为“ $x.0$ ”($x=\cdots,-1,0,1,\cdots$) 的测深点,为确保等值线与特征点对应关系正确,可以考虑对特征点的部分特征值进行修改,以对IDW插值结果进行修正。

因此,本文根据特征点与周围8个点的数值对比判断是否需要修改特征值,比对步骤为:第一步,利用MySQL的MBRContains()和ST_Buffer()函数生成该点的缓冲区,通过空间拓扑查询获取最邻近的8个点;第二步,根据点的坐标进行排序,最终得到9条点位的记录,特征点与临近8个点的排列顺序见图6;第三步,根据设定规则判断是否修改特征值,部分规则见图7,左边为调整之前的测深点与IDW方法生成的等值线,右边为数值调整之后的测深点与等值线。可以看到,经过数值调整后的测深点生成的等值线可以与特征点有更好的对应关系。

3	6	9
2	5	8
1	4	7

图6 特征点与邻近点点位排序

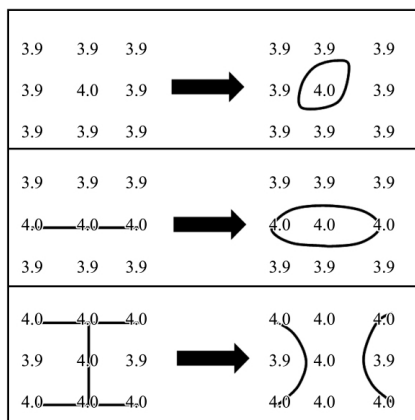


图7 修改特征值部分规则

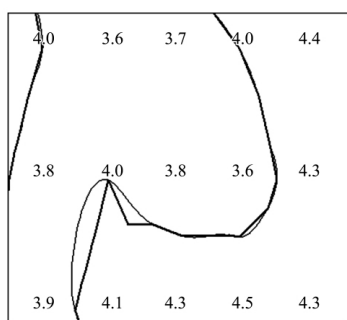
3.3 等值线优化及平滑

对特征点的值进行修改并通过IDW生成等值线后,需要对等值线的线型进行修改,以使部分曲线准确地反映测深点的高程特征,并使等值线更加美观。

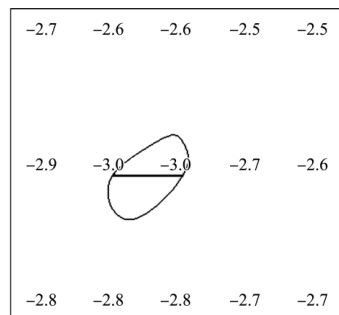
对于节点数超过2的等值线,优化流程为:

1) 遍历等值线中不是起点和终点的节点; 2) 空间查询判断节点是否落于测深点上; 3) 如果否,则查找该节点的上一节点和下一节点; 4) 计算该节点与上下节点连线的长度; 5) 根据余弦定理判断该节点与上下节点连线的夹角; 6) 根据矢量叉积判断该节点是否为拐点; 7) 如果该节点非拐点,上下节点连线的长度不超过阈值,并且角度小于 60° 或大于 160° ,删除该节点。

曲线优化后,利用ArcGIS Engine的Smooth()函数,对曲线进行贝塞尔平滑处理,并且利用Densify()函数增加平滑后曲线的节点密度。等值线优化平滑效果见图8,粗线为优化前的曲线,细线为优化后的曲线,数字为原始数据的测深值注记。



a) 节点数超过2



b) 节点数为2

图8 等值线优化平滑效果

3.4 拓扑错误修正

等值线进行平滑处理后,部分曲线的走向会发生改变,在等值线分布密集的区域可能出现相交、重叠等情况,等值线与测深点的对应关系可能发生改变。为了保证等值线图的准确性,需要对等值线进行拓扑检查与修正,检查的图层为经过优化平滑的等值线图层与修改部分特征点特征值的测深点图层。

拓扑检查的内容为:

1) 检查线与线之间相互重叠情况,通过MySQL的ST_disjoint()函数判断。

2) 检查线与线之间相交情况,通过MySQL的ST_disjoint()函数判断。

3) 检查线要素自身重叠或相交的情况,通过曲线的节点遍历查询判断是否有重复节点,若有则说明自身有重叠或相交的情况。

4) 检查线要素被特征值不是“ $x.0$ ”($x = \dots, -1, 0, 1, \dots$) 的测深点覆盖的情况,通过MySQL的ST_contains()函数判断。

5) 检查特征值是“ $x.0$ ”($x = \dots, -1, 0, 1, \dots$) 的测深点上没有线要素的情况,通过MySQL的ST_contains()函数判断。

在这里,需要定义元组 TopoError(geometryA, geometryB, isclosedA, isclosedB), 其中 geometryA 和 geometryB 用来记录发生拓扑错误的形状的id; isclosedA 和 isclosedB 用来记录形状在等值线图的范围是否闭合,0为闭合,1为不闭合,2表示形状不是曲线。在进行拓扑错误的检查后,将产

生拓扑错误的形状记录在 TopoError 的数组中, 并进行拓扑错误的修正, 并生成拓扑修正后的等值线图层, 拓扑修正流程见图 9。

等值线拓扑修正的效果见图 10, 细线为修正前的曲线, 粗线为修正后的曲线, 数字为原始数据的测深值注记。

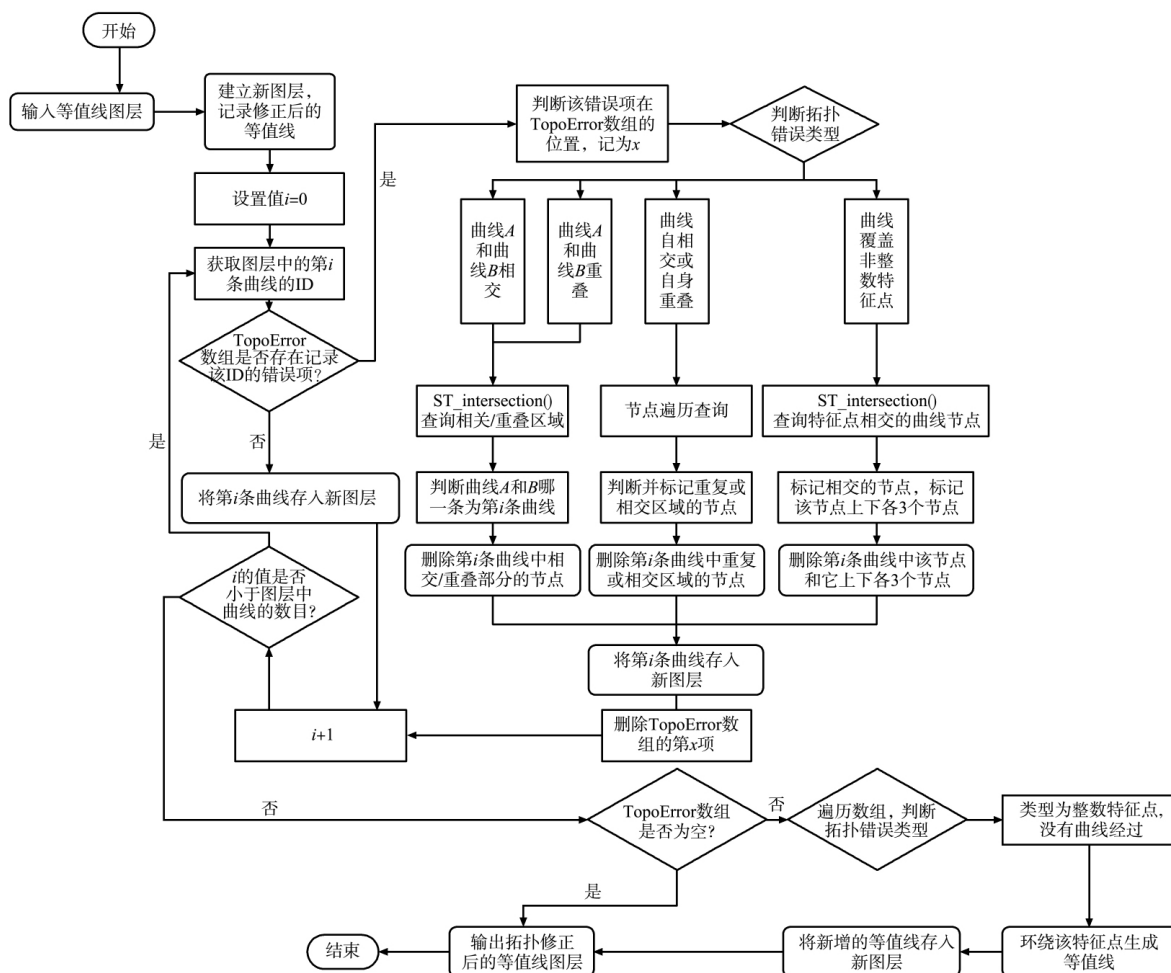


图 9 等值线拓扑修正流程

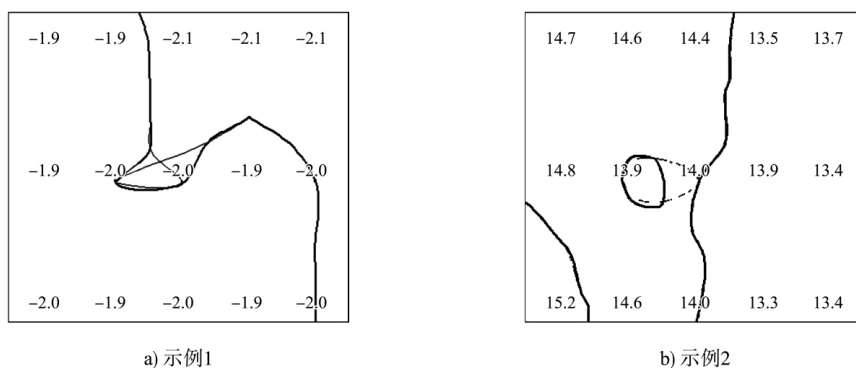


图 10 等值线拓扑修正效果

3.5 线形渲染及输出

等值线经过拓扑检查修正, 已与测深点的对应关系准确, 走向合理, 可以输出为 CAD 图层。输出为 CAD 前, 针对等值线的特征值, 进行首

曲线与计曲线的区分, 并根据内业制图规范赋予不同的颜色和线型。最终利用 ArcGIS Engine 的 ConversionTools 工具将图层转换为 CAD 文件, 得到等值线生成的最终成果。经质检人员检查,

最终成果不存在拓扑错误。

使用等值线生成平台进行等值线的生成,其流程简化为“导入测量数据——点击‘等值线生成’按钮计算”两步。大幅降低了内业人员的操作难度与工作强度,提升了内业成图效率,可以及时地为电子航道图提供数据,满足电子航道图实时性需求。

4 结语

1) 利用IDW插值法进行计算,得到自动生成的等值线;其次通过空间查询方法对等值线进行线型优化与拓扑修正处理;最后根据等值线生成优化方法开发等值线生成平台,验证整个流程的高效性与准确性。本文提出的方法对等值线自动化生成研究有很大的借鉴意义。

2) 本文提出的方法存在不足:自动生成的等值线在美观方面有所欠缺、没考虑分布离散的陆域地形测量点等问题。这些问题有待日后深入研究。

参考文献:

- [1] 刘尧芬.多波束测深信息处理技术研究[D].南京:南京航空航天大学,2009.
- [2] 张帝华.基于多波束测深数据的海底等深线提取与整理技术研究[D].成都:西南交通大学,2014.
- [3] 刘旭东.电子航道图等深线自动生成算法的研究[D].大连:大连海事大学,2009.
- [4] 王海涛,李剑,黄第科.新型等深线生成方法研究与应用[J].中国水运(下半月),2018,18(3):206-208.
- [5] 王学潮.等值线绘制简易算法[J].北华航天工业学院学报,2012,22(4):21-23.
- [6] 李艳,朱军,胡亚,等.不同插值方法模拟四川省逐月降水量的对比分析[J].水土保持研究,2017,24(1):151-154,160.
- [7] 夏天.基于IDW插值法的断面快速生成方法研究实现[J].中国水运(下半月),2018(8):50-51.
- [8] 徐映雪,牛鑫艳,李玲,等.空间插值技术在全国地下水业务分析与发布系统中的应用[J].水文,2016,36(3):65-69.
- [9] 杜锦华,邹峥嵘,刘平.基于MySQL空间扩展的GIS开发技术研究[J].地理信息世界,2012,10(3):62-67.
- [10] 李志鹏.基于MySQL数据库的海上油田网络论坛设计[J].中国海洋平台,2019,34(3):84-90.
- [11] 李瑞祥,刘伟.MYSQL数据查询技巧[J].网络和信息化,2019(5):70-71.

(本文编辑 武亚庆)

(上接第167页)

5 结语

1) 双排咬合灌注桩作为河道整治工程中一种较新颖的结构形式是可行的;

2) 双排咬合灌注桩结构适用于后方作业空间小、软土层厚、可陆上施工的河道整治工程,无须对河道断流和大范围施工开挖,具有较明显的优势;

3) 咬合桩施工采用硬法切割施工工艺不需要添加缓凝剂,避免了缓凝剂造成的施工局限性,确保了工程质量,且具备多台设备同时施工的条件,可提高工作效率;

4) 对于硬法切割施工,为保证施工质量,建议钢筋混凝土灌注桩在相邻素混凝土灌注桩浇筑完成至少5d后再行施工。

参考文献:

- [1] 林鹏,王艳峰,范志雄,等.双排桩支护结构在软土基坑工程中的应用分析[J].岩土工程学报,2010,32(S2):331-334.
- [2] 邹开明,姜兴良,王勤振.株洲二线船闸深基坑双排桩结构的受力特性[J].水运工程,2019(3):83-88.
- [3] 申永江.边坡工程中抗滑桩的效果评价与优化设计[D].杭州:浙江大学,2009.
- [4] 沈孔成.杭嘉湖地区“II”形双排桩河道护岸结构性状分析及优化设计[D].杭州:浙江大学,2014.
- [5] 中交水运规划设计院有限公司.横琴新区天沐河防洪及景观工程地质勘察报告(施工图设计阶段)[R].北京:中交水运规划设计院有限公司,2015.
- [6] 中国建筑科学研究院.建筑基坑支护技术规程:JGJ 120—2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.

(本文编辑 郭雪珍)